Energie, Mines et Ressources Canada
Centre canadien de la technologie des minéraux et de l'énergie

Energy, Mines and Resources Canada
Canada Centre for Mineral and Energy Technology

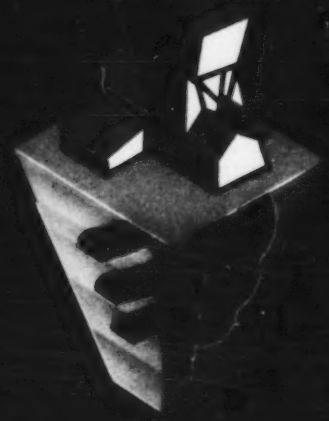
CANMET

Ontario

Ontario Mining Association

RAPPORT ANNUEL 1986 - 1987 DU PROJET DE RECHERCHE CONJOINT CANADA-ONTARIO-INDUSTRIE SUR LES COUPS DE TOIT

SP87-7F



88-04983/

RAPPORT ANNUEL 1986 - 1987 DU PROJET DE RECHERCHE CONJOINT CANADA-ONTARIO-INDUSTRIE SUR LES COUPS DE TOIT

C.H. Brehaut
Président
Comité de gestion

D.G.F. Hedley
Président
Comité technique

MICROMEDIA

28 AP

Rapport spécial de CANMET
SP87-7F

© Ministre des Approvisionnements et Services Canada 1988

En vente au Canada par l'entremise des

Librairies associées
et autres libraires

ou par la poste auprès du

Centre d'édition du gouvernement du Canada
Approvisionnements et Services Canada
Ottawa (Canada) K1A 0S9

N° de catalogue M38-15/87-7F
ISBN 0-662-94946-3

Prix sujet à changement sans préavis

RAPPORT ANNUEL 1986-1987 DU PROJET DE RECHERCHE CONJOINT CANADA-ONTARIO-INDUSTRIE SUR LES COUPS DE TOIT

Avant-propos

Le deuxième rapport annuel du projet de recherche conjoint Canada-Ontario-Industrie sur les coups de toit décrit les importants progrès qui ont été réalisés jusqu'ici en matière de mise au point de systèmes et de techniques utilisables avec des mesures prises sur place, et des modèles informatiques pour évaluer des méthodes tant stratégiques que tactiques de réduction des coups de toit. Les programmes de recherche individuels ont été bien conçus et réalisés sous la direction de D.G.F. Hedley de CANMET et de son Comité technique du projet de recherche sur les coups de toit. Les résultats jusqu'ici et les plans d'avenir tels que décrits dans le présent rapport font ressortir l'efficacité d'un effort de collaboration dont tous les participants peuvent s'enorgueillir.

Président du
Comité de gestion
C.H. Brehaut

1986-1987 ANNUAL REPORT OF THE CANADA-ONTARIO-INDUSTRY ROCKBURST PROJECT

Foreword

The second annual report of the Canada-Ontario-Industry Project documents the excellent progress which has been made to date towards the development of systems and techniques which would be utilized in conjunction with in situ measurements and computer models to evaluate both strategic and tactical methods of alleviating rockbursts. The individual research programs have been well conceived and implemented under the direction of D.G.F. Hedley of CANMET and his Rockburst Project Technical Committee. The results to date and future plans as described in this report illustrate the effectiveness of cooperative action which is a credit to all participants.

C.H. Brehaut
Chairperson
Management Committee

TABLE DES MATIÈRES

Avant-Propos	i
Foreword	iii
Introduction	1
Activités de recherche	2
Mines d'Elliot Lake	2
Mines de Sudbury	5
Mines de Red Lake	11
Mines de Kirkland Lake	13
Études de base	14
Résumé des réalisations	16
Rapports	17
Annexes	19

INTRODUCTION

Le projet de recherche conjoint Canada-Ontario-Industrie sur les coups de toit a été lancé en septembre 1985 après une période de recrudescence des coups de toit dans les mines de roche dure du nord de l'Ontario. Le bien-fondé et les objectifs du projet sont d'abord de mettre au point de nouveaux systèmes de surveillance sismique capables de détecter des formes d'onde complètes, puis ensuite d'étudier les causes et les mécanismes des coups de toit au moyen de techniques améliorées de repérage des sources, d'étude des mouvements premiers, de l'analyse de la vitesse maximale des particules, de l'énergie sismique libérée par les coups de toit et de leur fréquence spectrale. Ces techniques seront ensuite combinées à des essais sur le terrain, à des mesures prises sur place et à des modèles informatiques pour évaluer des méthodes de réduction des coups de toit en vue de rendre plus sûre et plus rentable l'exploitation souterraine de la roche dure.

La gestion et le financement du projet pendant une période de cinq ans sont assurés par un effort tripartite. Le gouvernement du Canada, par l'intermédiaire du Centre canadien de la technologie des minéraux et de l'énergie (CANMET), fournit le personnel d'exploitation du projet. Le gouvernement de l'Ontario, par l'intermédiaire du ministère du Développement du Nord et des Mines et du ministère du Travail, avance les fonds nécessaires à l'achat d'équipement et de services. L'industrie minière de l'Ontario, par l'intermédiaire de la Campbell Red Lake Mines Ltd., de la Denison Mines Ltd., de la Falconbridge Ltd., d'INCO Ltd., de la Lac Minerals Ltd. et de la Rio Algom Ltd., fournit des systèmes de surveillance microsismique existants, participe à l'installation et à l'exploitation du nouvel équipement et fournit des données sur les coups de toit aux exploitations minières de ces sociétés.

Le projet est supervisé par un Comité de gestion composé de représentants des trois organismes commanditaires, dont le président est C.H. Brehaut, président de la Campbell Red Lake Mines Ltd. Un Comité technique, présidé par D.G.F. Hedley de CANMET, examine et approuve les plans de recherche. En 1986-1987, des réunions trimestrielles du comité technique ont été tenues à Red Lake, Kirkland Lake, Elliot Lake et Falconbridge. Une liste des membres actuels des deux comités est jointe.

La recherche est effectuée dans des mines des quatre régions minières sujettes à des coups de toit (Red Lake, Elliot Lake, Sudbury et Kirkland Lake). Les types de gisement vont d'étroits filons à fort pendage à Red Lake et à Kirkland Lake, à des récifs à faible pendage à Elliot Lake et à des gisements sulfurés massifs à Sudbury. Les méthodes d'exploitation utilisées comprennent la méthode des chambres-magasins, la méthode des tranches montantes remblayées, la méthode des chambres et piliers et la méthode des trous de mine. Au cours des trois dernières années, on a enregistré environ 325 coups de toit dans le Réseau sismique de l'est du Canada qui est exploité par la Division de géophysique de la Commission géologique du Canada. En voici la liste par district minier.

Coups de toit dans les mines de l'Ontario, 1984-1986

District minier	1984	1985	1986
Red Lake	26	5	10
Elliot Lake	59	88	22
Sudbury	16	31	56
Kirkland Lake	5	3	4
Totaux	106	127	92

ACTIVITÉS DE RECHERCHE

La recherche effectuée par le CANMET et par les sociétés minières est examinée dans les paragraphes qui suivent ainsi que dans les plans de recherche de 1987-1988.

MINES D'ELLIOT LAKE

L'objectif de la recherche à Elliot Lake est d'établir si le toit s'effondre au-dessus de la zone des coups de toit à la mine Quirke et de surveiller la distribution de l'activité sismique aux deux mines Quirke et Denison. À noter aussi la recherche effectuée à contrat par Denison Mines Limited sur l'utilisation de remblais pour empêcher la rupture violente des piliers.

Deux stations sismographiques ont été installées en surface et reliées au Laboratoire d'Elliot Lake de CANMET. Une station enregistre avec plus de sensibilité que l'autre les petits événements sismiques. Les gros événements sismiques sont comparés à ceux enregistrés par le Réseau sismique de l'est du Canada, et une magnitude leur est assignée. En 1986, des 1500 événements enregistrés par le réseau microsismique de la mine Quirke, 33 % ont aussi été enregistrés par le réseau sismographique local et 1,5 %, par le réseau national.

Mines de la Rio Algom

Les premiers coups de toit ont eu lieu dans un chantier abandonné de la mine Quirke de Rio Algom en 1982. Depuis ce temps, d'autres coups de toit d'intensité variable se sont produits. La période de septembre 1984 à avril 1985 a été très active; plus de 140 coups de toit de magnitude 1,5 à 3,0 ont été enregistrés. Avant que cette activité ne se manifeste, la zone de rupture des piliers s'étendait sur environ 870 m en direction et sur 300 m en pendage. Les coups de toit subséquents se sont propagés progressivement vers l'extérieur avec la rupture des piliers situés en bordure de la zone touchée. À la fin de 1985, la zone de rupture des piliers s'était étendue sur 1100 mètres en direction et sur 600 m en pendage.

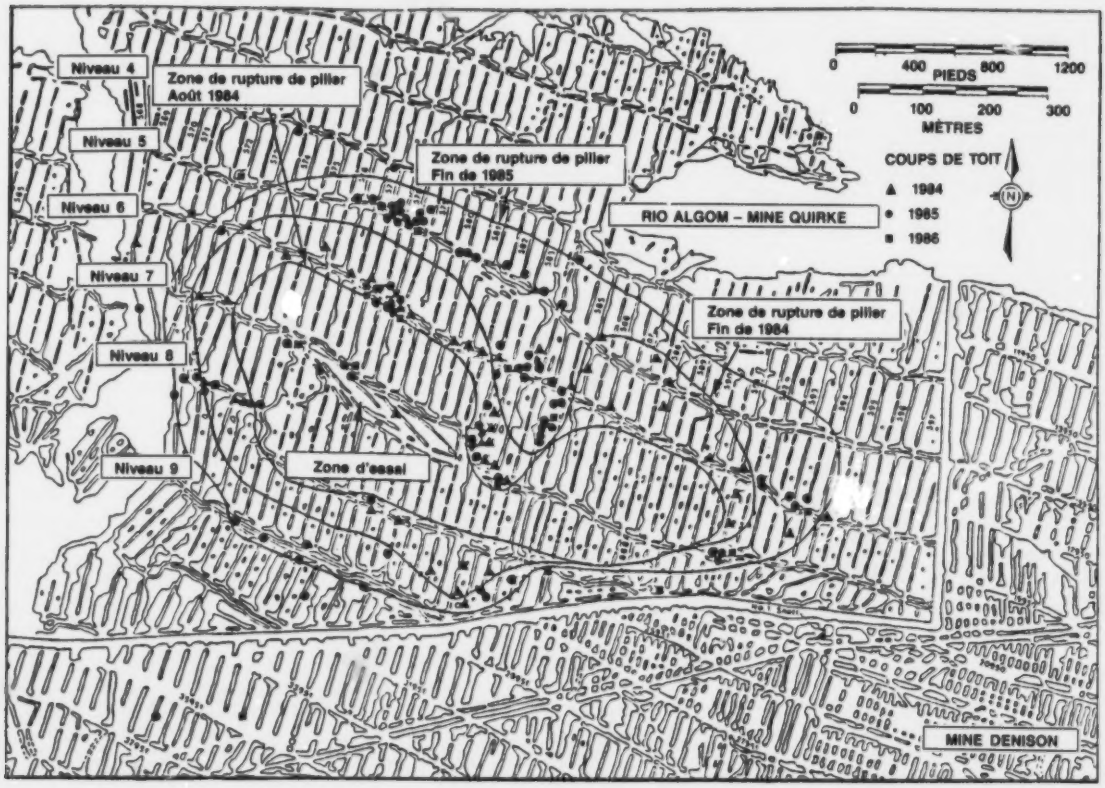
En 1985, la distribution des coups de toit s'est modifiée, certains se produisant encore au centre de la zone de rupture. On a pensé que ces événements se produisaient dans le toit, ce qui a été renforcé par une augmentation soudaine de l'écoulement souterrain dans la zone des coups de toit et par la disparition d'un étang à castors situé directement au-dessus. Il a ainsi été établi que la fracturation s'était propagée jusqu'en surface. Après cette fracturation du toit, le nombre de coups de toit a diminué considérablement.

Dans le cadre du projet sur les coups de toit, il a été décidé d'effectuer depuis la surface un forage au diamant pour établir s'il y avait aussi effondrement du toit. Un ancien trou de sonde de surface a été utilisé, ce qui, à la réflexion, fut une erreur. Cet ancien trou de sonde a posé nombre de problèmes, y compris des problèmes d'effrittement, de déplacement latéral au contact des couches, ainsi que de grandes pertes d'eau dans plusieurs horizons. Finalement, le trou de sonde a été abandonné à une profondeur de 265 m. Le forage au diamant a toutefois confirmé que le toit était fracturé jusqu'en surface et que les couches s'effondraient tout en glissant latéralement le long des contacts.

Pour améliorer le repérage des sources et mieux comprendre les mécanismes des événements sismiques se produisant dans le toit, on a installé en surface un nouveau réseau macrosismique, mis au point à forfait par le Centre de recherche Noranda, en mars 1987. Ce réseau comporte cinq capteurs triaxiaux reliés par des fibres optiques. Un appareil de traitement détermine si un événement sismique s'est produit et numérise pour chacune des 15 voies les formes d'ondes qui sont ensuite mises en mémoire dans un ordinateur. Les données peuvent ensuite être visualisées sur un écran et analysées pour fins d'évaluation de la position des sources, de la vitesse maximale des particules, des mouvements premiers, de l'énergie sismique libérée et des moments sismiques produits.

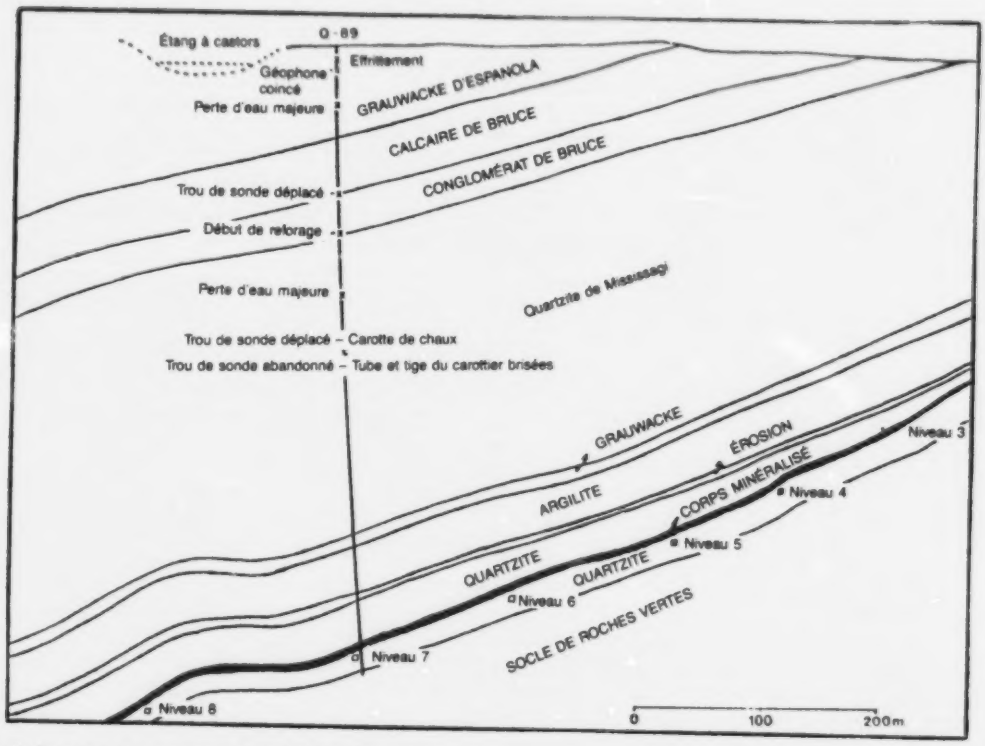
Mines de la Denison

Depuis 1983, à la mine Denison, on stabilise par remblayage les piliers situés directement en aval-pendage de la zone de coups de toit de la mine Quirke. Dans d'autres zones de la mine Denison, on a utilisé le remblayage dans le dépilage. Le remblai est constitué de résidus de concentration débarassés de leurs boues et additionnés de laitier cimenteux dans un rapport de 30/1. Des résidus triés et non cimentés ont aussi été utilisés par endroit.

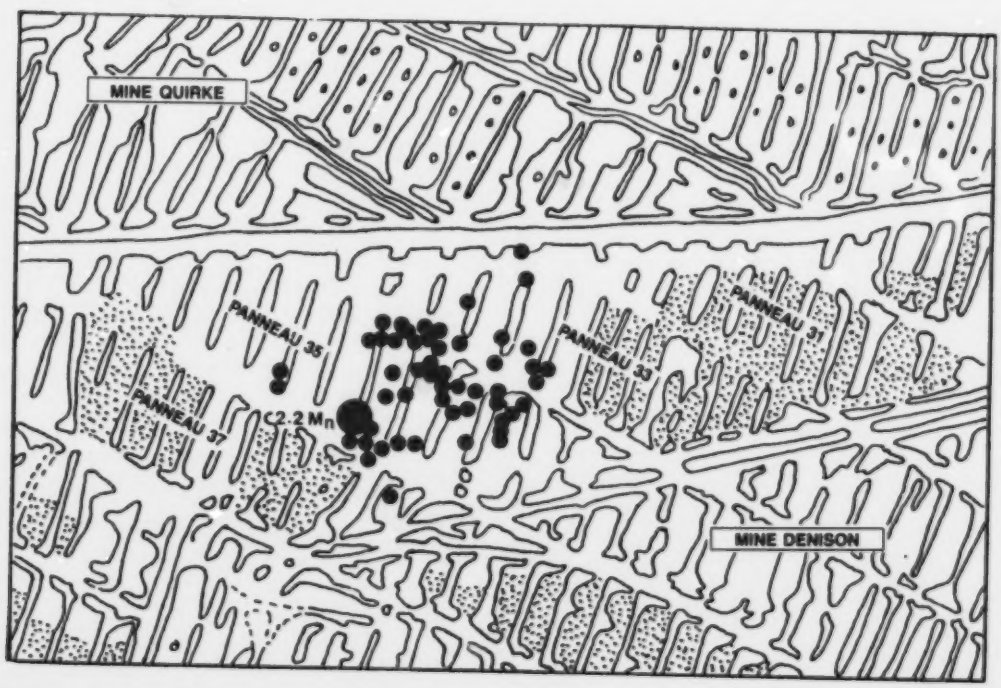


Plan partiel des mines Quirke et Denison montrant l'emplacement des coups de toit et l'étendue de la zone de rupture de pilier. La plupart des coups de toit se sont produits dans les piliers de sole plutôt que dans les piliers de parement du chantier.

Étang à castors, au-dessus de la partie sud-ouest de la zone de coups de toit à la mine Quirke, qui a disparu au milieu de 1985.



Coupe de la zone des coups de toit à la mine Quirke indiquant les profondeurs auxquelles des problèmes sont survenus pendant le forage dans un ancien trou d'exploration.



Lieu des événements sismiques survenus en mai 1986 à la mine Denison. À noter qu'aucune activité sismique n'a été enregistrée dans la zone remblayée environnante.

Les essais préliminaires de laboratoire de CANMET ont indiqué que les échantillons de roche entourés de remblai ne s'effondraient pas brusquement. Le remblai n'a eu aucun effet sur les courbes de chargement ou les résistances maximales des échantillons, mais après rupture, la résistance résiduelle était de beaucoup supérieure. Cet effet stabilisant a été confirmé indirectement à la mine Denison en mai 1986. Environ 60 événements sismiques enregistrés par le sismographe d'Elliot Lake se sont produits dans les panneaux 33 et 35 à côté du pilier limite de la mine Quirke. Tous ces événements se sont produits dans des piliers autour desquels les chambres n'avaient pas été remblayées, tandis qu'aucune activité sismique ne s'est produite dans les zones remblayées adjacentes.

Plans de recherche 1987-1988

a) Forer un trou au diamant, près de l'ancien trou d'exploration à la mine Quirke. L'objectif reste le même, établir si le toit s'effondre, et à quelle profondeur au-dessus de la zone de coups de toit. On s'attend qu'il faudra appliquer de grandes quantités de coulis pour permettre la circulation de l'eau. En outre, un levé de la réflexion sismique sera effectué si possible au-dessus de la zone de coups de toit.

b) Continuer à surveiller l'activité sismique au moyen du réseau macrosismique de surface à la mine Quirke. Au moyen de techniques d'analyse des formes d'ondes, évaluer la position des sources, le mécanisme et les caractéristiques d'atténuation de ces événements.

c) En vertu de l'Entente sur l'exploitation minérale Canada-Ontario, la Denison Mines doit remblayer une zone où des ruptures de pilier se sont produites. Un réseau microsismique a été installé autour de cette zone ainsi que du matériel de mesure de la convergence et des contraintes. En vertu d'un contrat en sous-traitance, le Département de génie minier de l'Université Queen's étudie une méthode de mesure par ultrasons des contraintes dans les piliers et la possibilité d'utiliser les ultrasons pour prévenir les coups de toit.

MINES DE SUDBURY

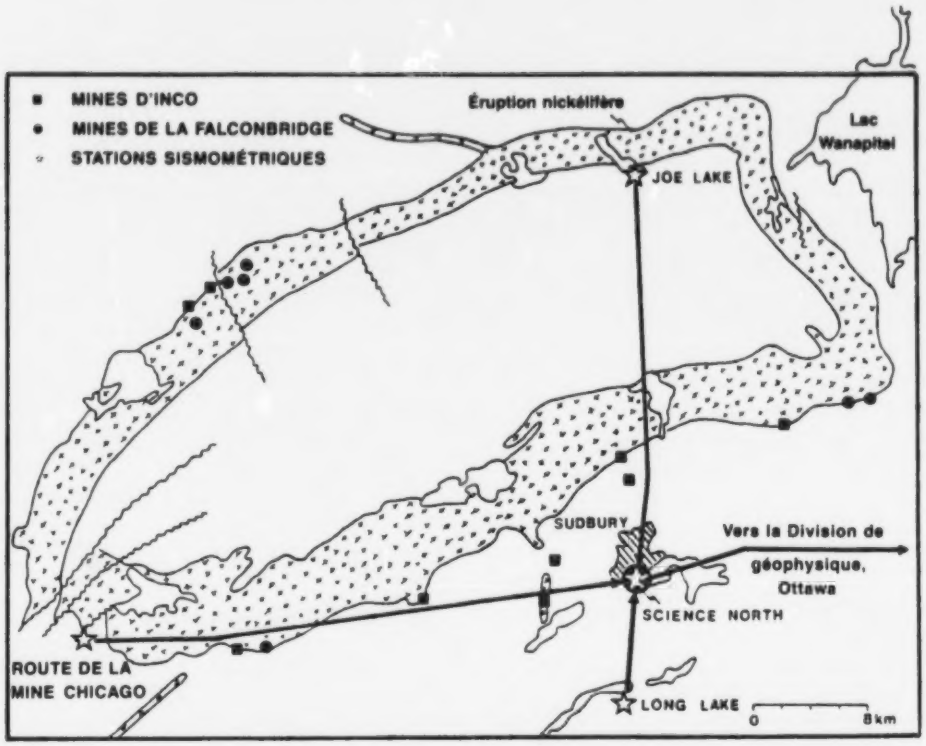
L'objectif de la recherche menée à Sudbury est de déterminer les causes et les mécanismes des coups de toit au moyen de techniques d'analyse des formes d'ondes, et d'évaluer des méthodes pour diminuer ou limiter les dommages qu'ils pourraient causer.

Deux des trois stations sismographiques ont été installées en bordure sud et ouest du bassin de Sudbury. Des lignes téléphoniques spéciales relient ces stations à Science North, où les enregistreurs à tambour sont en montre. Les formes d'onde des événements sismiques sont aussi numérisées et mises en mémoire sur un ordinateur à Science North. Les sismogrammes sont transmis à la Division de géophysique d'Énergie, Mines et Ressources Canada, à Ottawa, qui en évalue la magnitude et les analyse. Le Département de géologie de l'Université Laurentienne a aussi accès à ces données à des fins de recherche. Des points d'accès sont aussi prévus pour que le CANMET, INCO Ltd. et Falconbridge Ltd. puissent avoir accès à ces données.

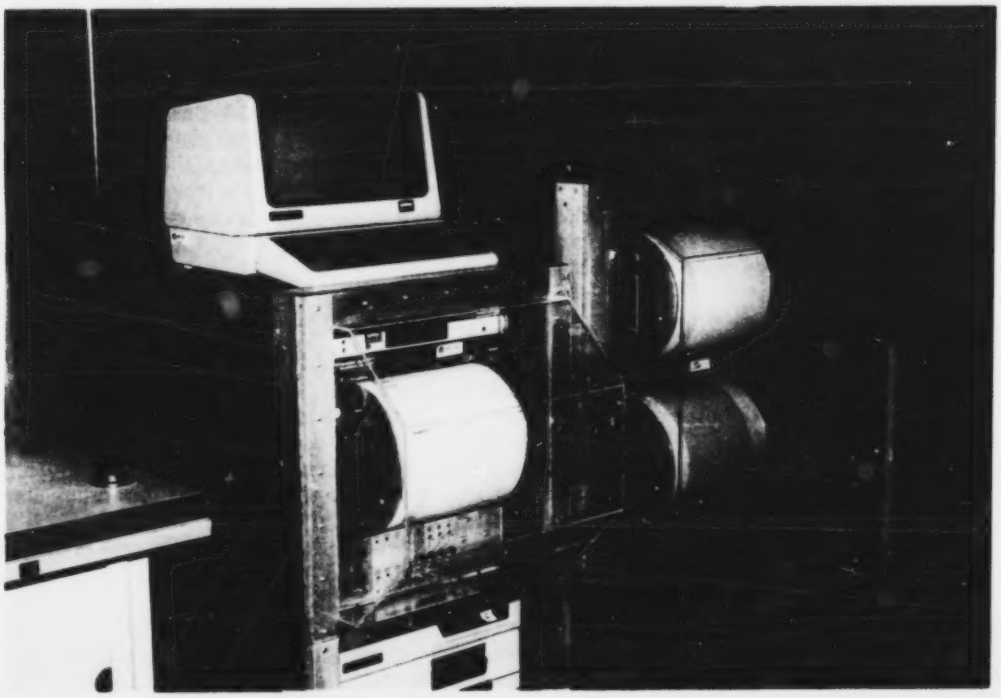
Mines de la Falconbridge

Des coups de toit survenus dans le puits nº 5 de la Falconbridge en juin 1984 ont entraîné la fermeture de la mine. Des traces visibles de glissement de faille ont été observées. Des courbes microsismiques ont été analysées pendant une période d'une minute immédiatement après les deux principaux coups de toit qui cotaient respectivement 3,4 et 3,5 M_N. Tous ces événements microsismiques se sont produits dans un quadrant de 180 à 200 m de rayon centré sur le lieu des principaux coups de toit. On avait auparavant utilisé un modèle de faille circulaire pour évaluer la mécanique des glissements de faille (c'est-à-dire les chutes de tension, les rayons et les glissements moyens). La réévaluation à l'aide d'un modèle basé sur des quadrants a permis d'obtenir des valeurs plus voisines du rayon de la zone endommagée et de l'ampleur du glissement.

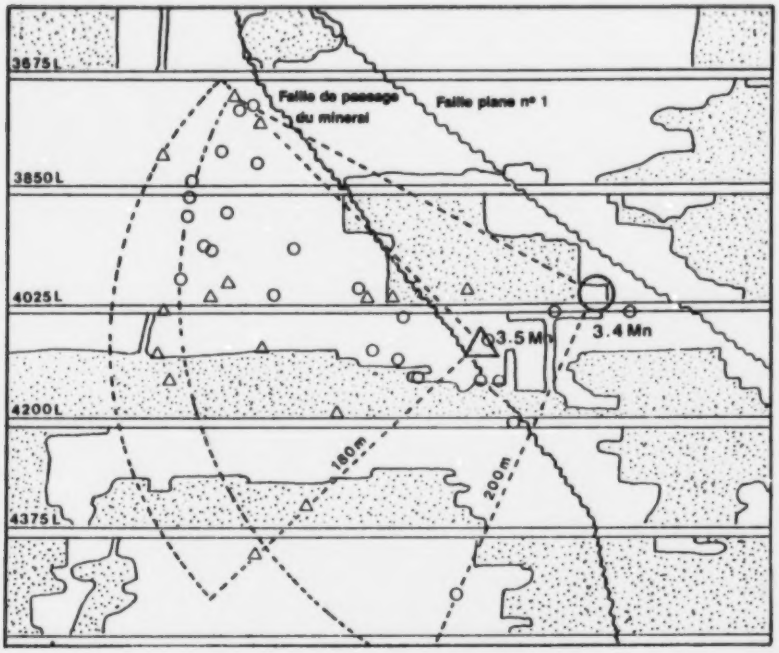
La Falconbridge Ltd. a aussi entrepris un projet de recherche pour réévaluer ces coups de toit dus à des glissements de faille dans le puits nº 5. Un examen géologique détaillé des niveaux touchés est effectué en vue de déceler tout mouvement le long des failles ou des réseaux de diaclase importants, ainsi que de documenter tout dommage. Au niveau 3850, des indices de mouvement ont été relevés dans plusieurs structures. La trace de glissement dans la galerie de sole est considérablement brisée à la hauteur d'une faille importante. Ce mouvement se serait produit après la fermeture de la mine.



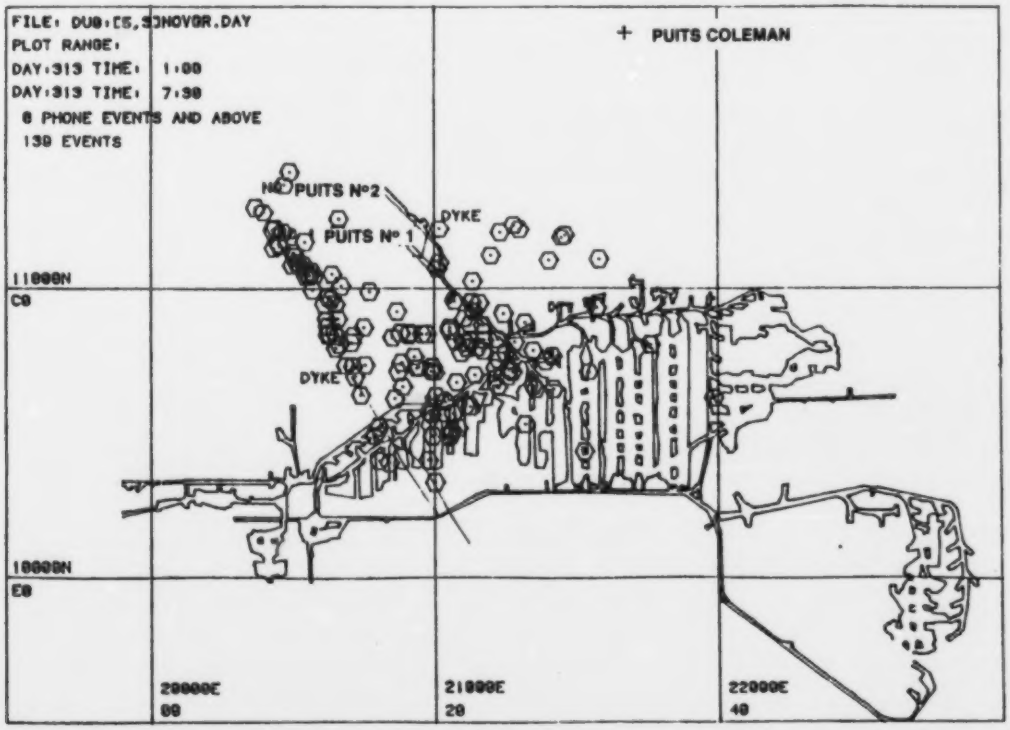
Plan du bassin de Sudbury indiquant les emplacements des trois stations sismographiques. Les données sismiques sont transmises en continu par Science North à la Division de géophysique d'Énergie, Mines et Ressources Canada à Ottawa.



Enregistreurs à tambour jumelés à un ordinateur, en montre à Science North.



Coupe longitudinale de la mine de Falconbridge indiquant l'emplacement des ondes de choc qui ont suivi deux importants coups de toit. Tous ces événements microsismiques se sont produits dans le mur suivant une distribution en forme de quadrant bien défini.



Plan du niveau 2350 de la mine Strathcona indiquant la position des événements microsismiques après un tir de production. À noter le groupement serré des événements le long d'un dyke.

Un nouveau réseau macrosismique a été conçu et commandé pour la mine Strathcona de la Falconbridge. Le réseau comprend cinq accéléromètres de mouvement de grande amplitude de Teledyne-Geotech, qui seront installés en sous-sol et en surface. Les signaux analogiques des capteurs seront transmis par câble à une unité de traitement construite par Instantel Inc. L'unité de traitement effectuera la reconnaissance des événements et la conversion analogique-numérique. Les données seront mises en mémoire sur un ordinateur IBM-AT sur place à la mine. Ces données pourront ensuite être transmises par modem asynchrone aux ordinateurs du Laboratoire d'Elliot Lake pour fins d'analyse des formes d'onde.

La mine Strathcona de la Falconbridge a été le siège de coups de toit importants au cours des deux dernières années. Le réseau microsismique de la mine a révélé que l'activité sismique était concentrée le long d'un dyke et de structures associées dans la partie ouest de la mine. Les opérations de dynamitage dans les chantiers adjacents auraient déclenché une série d'événements microsismiques le long du dyke, et des signes de décalage indiqueraient qu'il s'agit d'un mécanisme de glissement de faille.

La Falconbridge Ltd., en collaboration avec le Département des sciences géologiques de l'Université Queen's, effectue des essais d'imagerie tomographique à la mine Strathcona. Un levé tomographique pilote a été effectué sur un pilier de la mine. Les résultats ont montré qu'il était facile d'identifier les zones du pilier présentant des vitesses sismiques anormales.

En outre, un essai de soutènement par laçage a été entrepris à la mine Strathcona. Le laçage est une technique de soutènement mise au point dans les mines d'or d'Afrique du Sud pour le soutènement des ouvertures sujettes aux coups de toit. Il se fait au moyen de boulons à oeil en acier doux, de grillage à maillons de chaîne et de câble d'acier souple enfilé dans les boulons à œil en formant un réseau de losanges. Ce type de soutènement est conçu pour céder au choc. À la mine Strathcona, la galerie d'avancement du mur et les accès aux havées supérieure et inférieure d'une chambre aménagée par trous de mine ont été laçés. Il s'est par la suite produit dans la zone un coup de mine de magnitude 3,0 M_N, qui a gravement endommagé la havée supérieure protégée par un soutènement classique (barre de renforcement et grillage métallique gunités) se trouvant à 25 m environ. L'ouvrage de laçage le plus proche se trouvait à 40 m environ du coup de toit. Cette zone n'a subit aucun dommage, si ce n'est que le grillage était déformé et les câbles souples plus tendus par endroits.

Mines de l'INCO

Les premiers coups de toit survenus dans la mine Creighton de l'INCO remontent au milieu des années 1930. En 1986, 12 coups de toit ont été enregistrés dans la mine par le Réseau sismique de l'est du Canada. Le réseau microsismique de la mine a repéré la plupart de ces événements dans les piliers de couronne des chambres exploitées mécaniquement par tranches montantes entre les niveaux 5400 et 6800. Tout à fait contrairement aux méthodes classiques d'exploitation, une fente de relaxation est exploitée au centre du pilier de couronne des chambres du niveau 6800. On contrôle étroitement l'activité sismique associée à cette fente de relaxation pour évaluer les zones de fracture autour de la fente. Un câble à âme en fibre optique a été installé pour transmettre les signaux microsismiques à la surface.

En 1986, INCO Ltd. a aussi installé deux autres réseaux microsismiques Electrolab dans les mines Garson et Copper Cliff North. Dans la mine Garson, l'activité sismique semble être associée à des dykes et à des structures de cisaillement auxiliaires dans le mur. Elle est semblable à l'activité sismique de la mine adjacente de la Falconbridge. La mine Copper Cliff North a été le siège de coups de toit en 1986, notamment après le sautage de gros piliers. L'activité sismique est importante (jusqu'à 2000 événements en une semaine) après ces sautages et est relativement répandue.

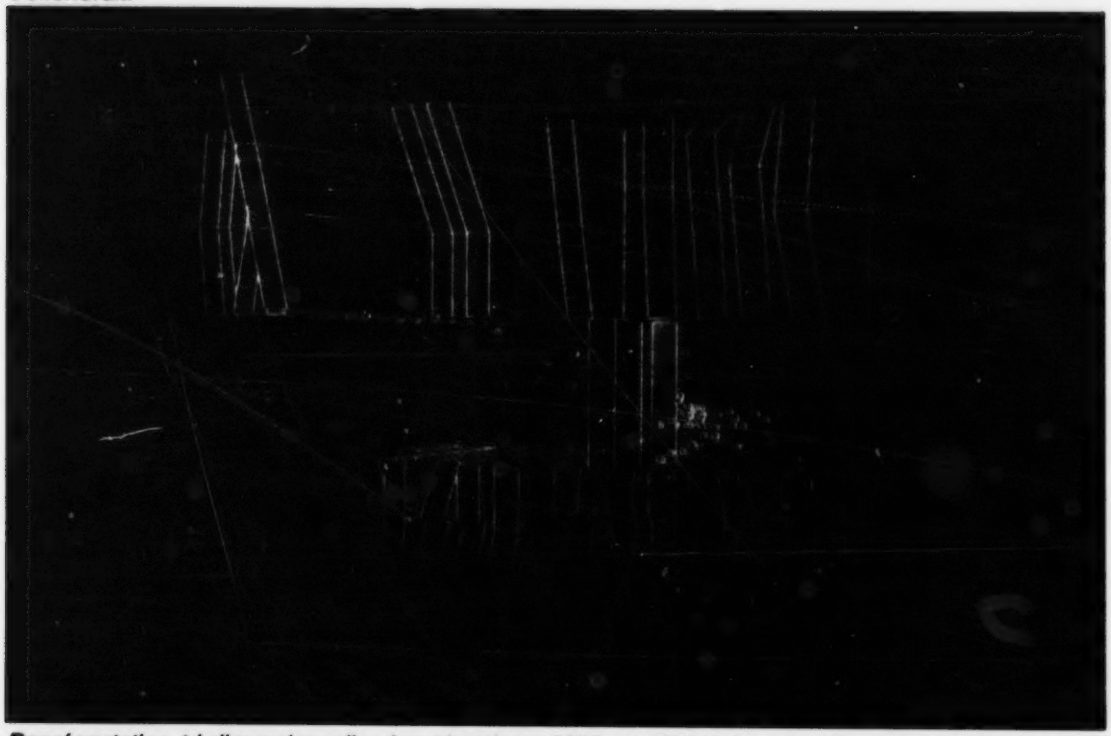
Plans de recherche 1987-1988

a) Liaison entre la troisième station sismographique dans le bassin de Sudbury, à Joe Lake, et Science North, et entre la ligne de transmission des données et la Division de géophysique d'Énergie, Mines et Ressources Canada à Ottawa. Le CANMET a l'intention d'embaucher une personne pour s'occuper du réseau sismographique de Sudbury, ainsi que des dossiers des coups de toit survenus dans les autres camps miniers de l'Ontario. Cette personne sera postée à la Division de géophysique à Ottawa.

b) Installation du réseau macrosismique autour de la mine Strathcona et liaison téléphonique avec Elliot Lake. Ce nouveau système devra évidemment être déparasité et étalonné.

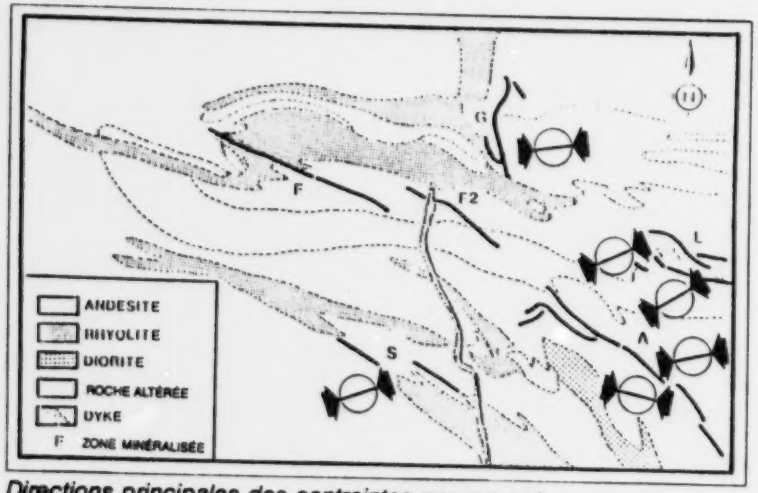
c) Remise en état du réseau macrosismique du puits nº 5 de la Falconbridge, comprenant l'addition de 16 géophones et le remplacement du câblage défectueux. Cela fait, l'appareil Gould pourra être branché pour enregistrer les formes d'onde des événements sismiques.

Ouvrage de lançage à la mine Strathcona. Il s'est produit par la suite un coup de toit de 3,0 M_N à 40 m de l'ouvrage qui n'a pas été endommagé, pendant qu'un ouvrage de soutènement classique adjacent s'effondrait.

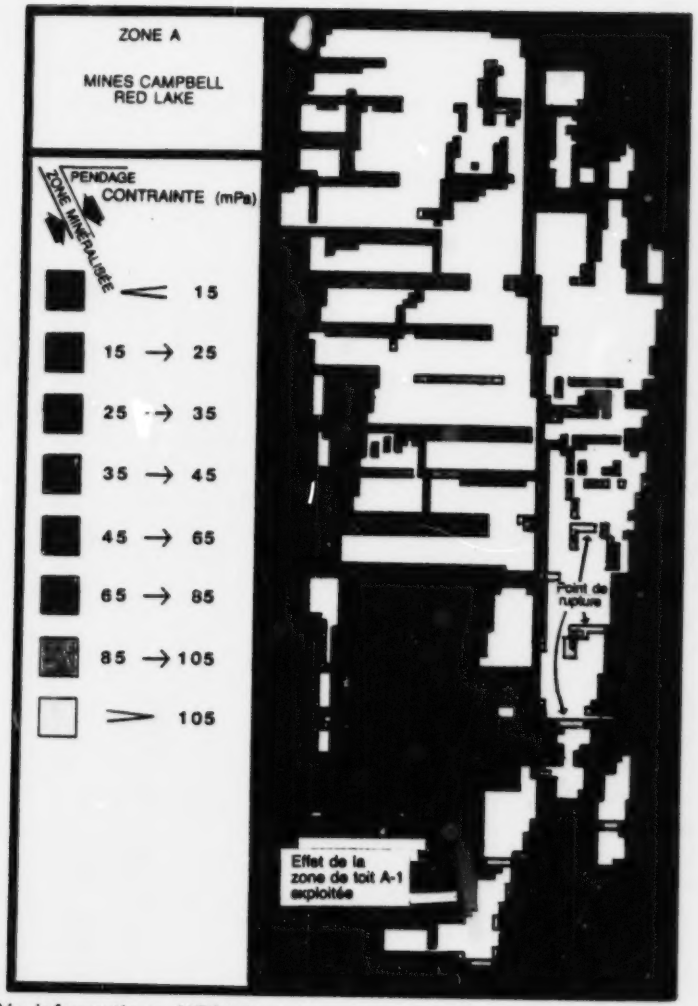


Représentation tri-dimensionnelle des chambres 6600 et 6800 à la mine Creighton, indiquant les événements microsismiques survenus lors de l'exploitation d'une fente de relaxation dans le pilier de sole.

Coups de toit dans un pilier de couronne de la zone minéralisée F, à la mine Campbell. La voie ferrée a été soulevée d'au moins 1 m.



Directions principales des contraintes par rapport aux zones minéralisées à la mine Campbell.



Modèle informatique NFOLD de la zone minéralisée A dans la mine Campbell et la mine adjacente Dickenson indiquant la distribution des contraintes perpendiculaires et les zones de rupture prévues.

d) Conception, commande et installation d'un réseau macrosismique à la mine Creighton.

e) Installation d'un réseau microsismique autour des fentes de relaxation dans les piliers de couronne des chambres des niveaux 6800 et 7000 à la mine Creighton. Les géophones seront disposés en une formation serrée pour localiser avec précision l'activité sismique afin de reconnaître toute configuration avant des événements sismiques importants. Cette recherche sera effectuée par INCO Ltd.

MINES DE RED LAKE

L'objectif de la recherche à Red Lake est de mettre au point des techniques permettant de récupérer efficacement et en toute sécurité, les piliers de couronne dans les corps minéralisés étroits et à fort pendage au moyen de méthodes d'exploitation par tranches montantes remblayées avec des résidus cimentés.

La mine Campbell à Balmertown a été le siège de plusieurs coups de toit depuis le début des années 1960. Ces derniers se produisaient habituellement pendant la récupération des piliers de couronne des chambres exploitées par tranches montantes ou par chambres-magasins. Il y a dans la mine plusieurs corps minéralisés distincts qui ont des orientations diverses. Jusqu'ici, les coups de toit se sont surtout produits dans les zones minéralisées étroites F, F-2 et A qui sont en échelon, de direction nord-ouest à sud-est. Plus récemment, la plupart des coups de toit successifs importants se sont produits dans la zone F qui est exploitée par chambres-magasins. En 1983, 22 coups de toit atteignant une magnitude de 3,3 M_N se sont produits en 2 jours dans les piliers de couronne, entre les 7e et 13e niveaux, bloquant complètement ces niveaux. Aucune exploitation n'a eu lieu dans ce corps minéralisé depuis ce temps.

Pour déterminer le régime des contraintes autour des multiples zones minéralisées, le CANMET, en collaboration avec la mine Campbell, a entrepris un programme de mesure des contraintes sur le terrain. Des endroits ont été choisis à différentes profondeurs et à proximité de différentes zones minéralisées. En général, les mesures ont révélé que la direction principale des contraintes est une direction nord-est à sud-ouest sub-horizontale qui est presque perpendiculaire aux zones minéralisées principales. Cependant, on note des variations locales autour de corps minéralisés particuliers. Les mesures des contraintes dans les piliers de base des chambres-magasins ont révélé que certains d'entre eux avaient cédé, notamment ceux près du centre d'une zone d'exploitation.

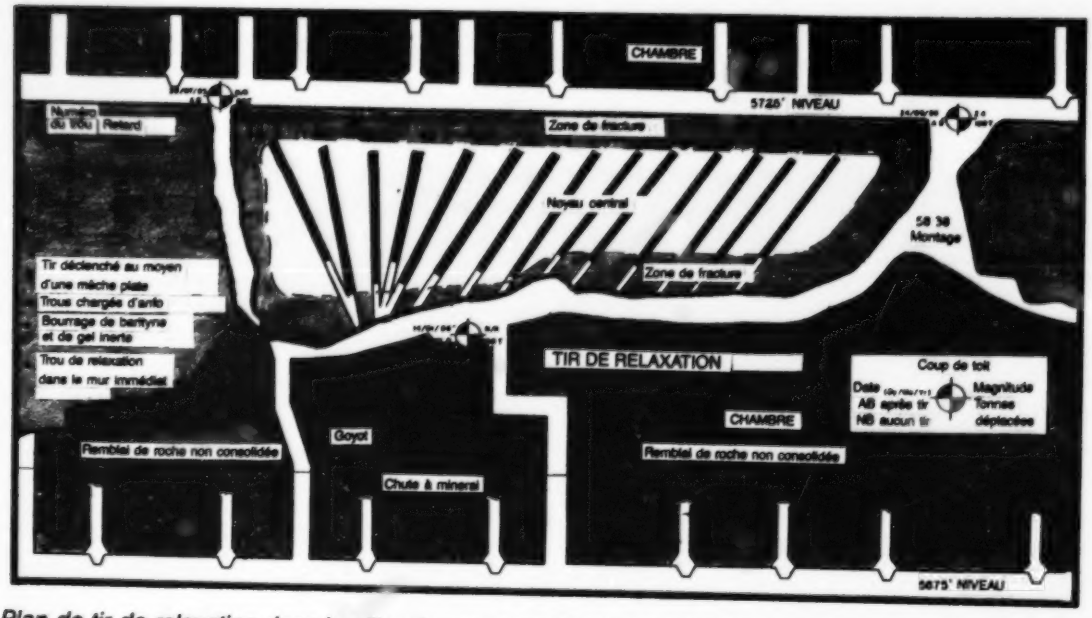
Le CANMET a appliqué le modèle informatique NFOLD à la zone minéralisée A et à la zone A-1 sub-parallèle. Le modèle représente aussi une partie de la mine Dickenson adjacente. Les modèles NFOLD simulent les caractéristiques de la roche après rupture, permettant ainsi d'analyser le transfert des contraintes et la progression des ruptures jusqu'à l'équilibre. Les résultats ont révélé que la distribution des ruptures de pilier est semblable à celle observée dans les niveaux supérieurs de la mine souterraine exploitée par chambres-magasins. En outre, cette partie du corps minéralisé était en équilibre instable, en ce sens que de faibles accroissements des contraintes suffiraient à provoquer d'autres ruptures de pilier. Le modèle a maintenant été étalonné pour représenter assez fidèlement les conditions souterraines et peut maintenant être utilisé pour évaluer d'autres scénarios d'exploitation du minerai résiduel de la zone A.

Depuis 1982, quatre tirs de relaxation des contraintes ont été effectués dans des piliers de couronne et des piliers de base de chantier à la mine Campbell. La société a détaillé le bien-fondé de la relaxation des contraintes, le plan de tir, l'instrumentation utilisée pour en démontrer l'efficacité et les observations et l'activité microsismique consignées après le tir. Un document portant sur ces tirs de relaxation a été présenté à la Conférence des exploitants de mines souterraines de l'ICM, à Elliot Lake, en février 1987.

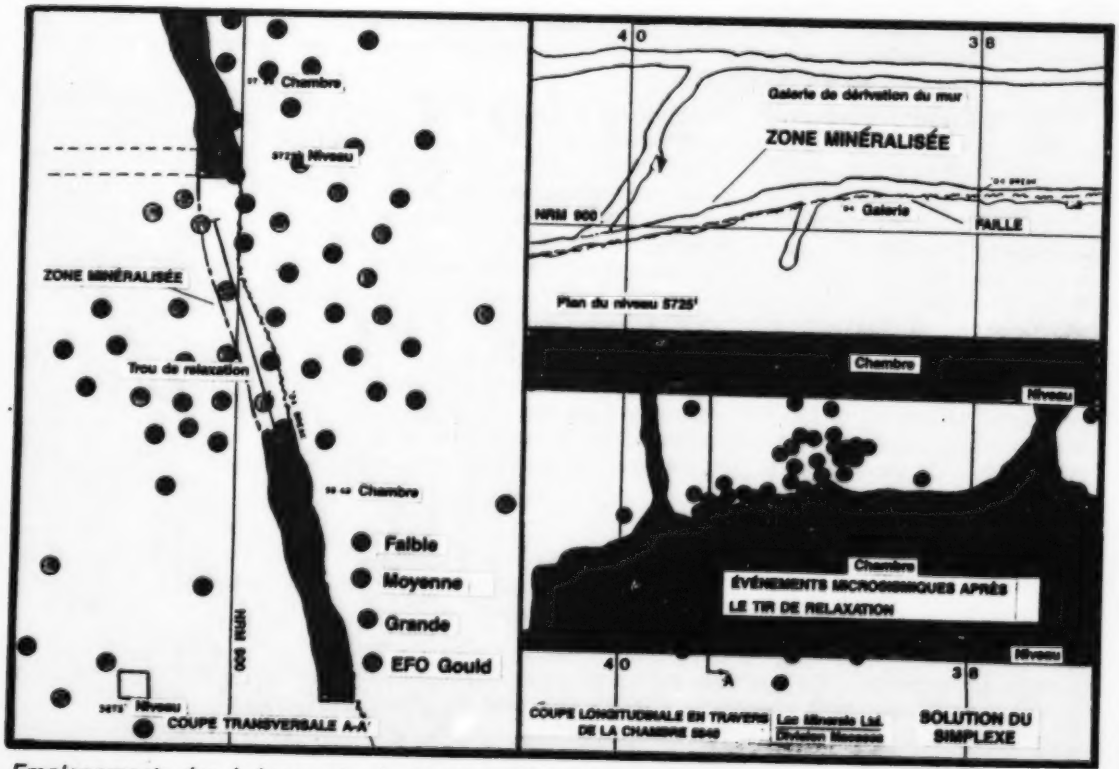
Plans de recherche 1987-1988

a) Évaluer différents emplacements de surface près de Balmertown pour y aménager une station sismographique permanente. Installation du sismomètre et liaison par ligne téléphonique spéciale de ce dernier avec l'appareil d'enregistrement à la mine Campbell.

b) Installer à la mine Campbell cinq géophones triaxiaux reliés à un enregistreur de formes d'onde Gould et à un ordinateur. Ce système est conçu pour enregistrer des formes d'onde complètes des événements sismiques importants. Il fera aussi partie du réseau microsismique de la mine.



Plan de tir de relaxation dans le pilier de couronne 58-40 à la mine Macassa. Les emplacements des coups de toit avant relaxation sont aussi indiqués.



Emplacements des événements sismiques après le tir de relaxation.

c) Poursuivre l'installation de capteurs de pression du remblai et d'appareils de mesure de la convergence pour déterminer les propriétés et la performance in situ des remblais cimentés.

d) Si prévu, surveiller les tirs de relaxation dans les piliers de couronne et évaluer par modélisation sur ordinateur l'efficacité de ces tirs.

MINES DE KIRKLAND LAKE

L'objectif de la recherche à Kirkland Lake est de mettre au point des techniques permettant de récupérer de façon sûre et efficace les piliers de couronne dans des corps minéralisés étroits et à fort pendage par la méthode des chambres remblayées avec des stériles et de la roche cimentée. Elle complète en soit la recherche menée dans les mines de Red Lake, sauf que le matériau de remblayage est différent et que les chantiers d'exploitation se trouvent à une plus grande profondeur (atteignant 2200 m).

Les mines de Kirkland Lake ont été le siège de plusieurs coups de toit depuis le début des années 1930. La plus grande partie des premières recherches sur les coups de toit a été effectuée à la mine Lake Shore dans les années 1940. Le plus gros coup de toit (de magnitude estimée à 5,0) enregistré au Canada s'est produit dans la mine Wright-Hargreaves en 1964. Il a entraîné la fermeture de la mine. La mine Macassa de Lac Minerals est maintenant la seule mine qui continue de produire dans la région. Des coups de toit isolés se sont produits dans cette mine, en général lorsque les piliers de couronne des chambres remblayées atteignaient une taille critique.

Le CANMET, en collaboration avec Lac Minerals Ltd., a contrôlé un tir de relaxation des contraintes dans un pilier de couronne sous le niveau 5725 à la mine Macassa le 28 juin 1986. Avant le tir, trois coups de toit se sont produits dans ce pilier, deux dans les montages à chaque extrémité du pilier, et un dans l'arrière de la chambre. Le plan de tir comportait 14 trous espacés dans le corps minéralisé à des intervalles de 3 m environ. Le premier et le dernier trou n'ont pu être chargés adéquatement à cause du resserrement du sol.

Un système temporaire de monitorage microsismique comportant 12 géophones a été installé autour d'une zone, et 8 voies ont aussi été reliés à un enregistreur de formes d'onde Gould. Des stations de convergence ont été installées dans la dernière tranche, dans la chambre et dans la galerie sus-jacente. Des trous ont été forés au diamant dans le pilier de couronne pour délimiter les zones fracturées autour des bords.

Une activité microsismique intense a résulté du tir de relaxation, notamment autour du pilier de couronne et des chambres adjacentes. Cependant, certaines parties du pilier n'ont été le siège d'aucune activité sismique, notamment à proximité du premier trou de sonde qui n'a pas été entièrement chargé. Une forte convergence (d'environ 25 mm) a aussi été observée dans la chambre, sauf à proximité du premier trou de sonde (6 mm).

Le premier tir de production dans le pilier a eu lieu environ 1 mois après le tir de relaxation. Ce tir a aussi produit une activité microsismique qui était toutefois plus étendue et moins concentrée autour du pilier de couronne. Le deuxième tir de production a été effectué à proximité du premier trou de sonde qui n'avait pas été entièrement chargé lors de la relaxation. Une petit coup de toit s'est produit après ce deuxième tir, endommageant quelque peu les étais de bois et les boulons d'ancrage dans la chambre. La convergence dans cette zone a aussi augmenté d'environ 33 mm. On a conclu que le manque de convergence initiale et d'activité microsismique ne dénotait qu'une relaxation partielle du pilier.

Un modèle informatique NFOLD a aussi été utilisé pour simuler le tir de relaxation. En attribuant diverses propriétés élastiques et de comportement après rupture à différentes sections du corps minéralisé, on a pu obtenir un accord raisonnable avec les observations effectuées dans les zones souterraines de rupture. Pour obtenir un accord raisonnable en termes de convergence dans la chambre, il a fallu réduire le module des contraintes après rupture d'environ 67 %. Ce modèle peut maintenant être utilisé pour évaluer tout autre tir de relaxation prévu dans la zone.

Lac Minerals, en collaboration avec Golder Associates, a examiné l'activité sismique associée avec le creusement d'un nouveau puits rectangulaire jusqu'à une profondeur de 2200 m. Un document décrivant les techniques de renforcement de la roche et de relaxation des contraintes, ainsi que la cause et le mécanisme des coups de toit sera présenté à la réunion annuelle de l'ICM, à Toronto, en mai 1987.

Plans de recherche 1987-1988

a) Installation d'une station sismographique à Kirkland Lake, avec liaison spéciale par ligne téléphonique avec l'enregistreur de la mine Macassa.

b) Installation de 5 géophones triaxiaux à la mine Macassa, reliés à un enregistreur de formes d'onde Gould et à un ordinateur. Ce système est conçu pour enregistrer des formes d'onde complètes des événements sismiques importants. Il fait aussi partie de l'installation microsismique de la mine.

c) Installation de capteurs de pression du remblai et d'appareils de mesure de la convergence pour évaluer les propriétés et la performance in situ du remblai de roche stérile.

d) Si prévu, surveillance des tirs de relaxation dans les piliers de couronne et évaluation par modélisation sur ordinateur de l'efficacité de ces tirs.

ÉTUDES DE BASE

Le but de ces études est de donner un aperçu des coups de toit dans les mines de l'Ontario, de renseigner sur la recherche qui est effectuée sur les coups de toit par d'autres organismes et pays, et d'effectuer de la recherche fondamentale sur des méthodes de localisation des sources, sur la mesure de l'énergie sismique et sur les mécanismes des coups de toit.

L'étude sur les coups de toit survenus dans les mines de l'Ontario en 1985 est terminée. Au total, 127 coups de toit de magnitude atteignant 3,1 M_N ont été enregistrés. La rupture des piliers en minces plaques minéralisées (c'est-à-dire aux mines Quirke, Denison, Campbell, Dickenson et Macassa) est encore la forme de coup de toit la plus répandue, représentant 70 % des événements. Des coups de toit dus à des glissements de faille se seraient produits à la mine Strathcona et dans le toit au-dessus de la mine Quirke, et représenteraient environ 15 % du nombre total. Des données préliminaires ont été recueillies sur les coups de toit de 1986. Le nombre de coups de toit avait chuté à 92 et les mines de Sudbury ont surclassé les mines d'Elliot Lake en termes de nombre de coups de toit.

En 1986, une "entente de principe" a été signée par L'United States Bureau of Mines, le CANMET et le ministère ontarien du Travail relativement à une collaboration éventuelle en matière de mécanique des roches et de contrôle des terrains. Dans le cadre de cette entente, un comité d'étude des coups de toit et des explosions a été créé. Ce comité a tenu sa première réunion en même temps que la réunion trimestrielle du Comité technique du projet d'étude des coups de toit à la Falconbridge en mars 1987. Les activités de recherche de tous les organismes participants ont été revues, et il a été convenu d'échanger de l'information et des rapports techniques pertinents sur les coups de toit et les explosions.

Une étude a été réalisée sur la précision des techniques de localisation des sources qui s'appuient sur les temps d'arrivée des ondes P. Quatre méthodes ont été évaluées : la méthode des moindres carrés, la méthode USBM-Mt. Isa, la méthode des blocs et la méthode du simplexe. Les deux premières méthodes reposent sur des équations linéaires et font appel à des solutions directes, tandis que les deux dernières méthodes reposent sur des équations non linéaires et font intervenir des solutions itératives. Toutes les méthodes sont relativement précises pour des événemnts qui se produisent à l'intérieur d'un réseau de géophones. Quant aux événements se produisant à l'extérieur du réseau, les méthodes des blocs et du simplexe sont plus précises.

Des études sur la mécanique des coups de toit ainsi qu'un catalogue des ouvrages sur les coups de toit ont été publiés. Les premières évaluent les causes et les mécanismes des coups de toit à partir d'un bilan énergétique. La source d'énergie sismique libérée est identifiée, qu'il s'agisse de coups de toit dus à une déformation, à une rupture de pilier ou à un glissement de faille. Le principe du chargement et de la rigidité des piliers ou des failles est utilisé pour définir une rupture violente ou une rupture non violente. Dans le dernier chapitre, plus de 200 ouvrages sur les coups de toit, publiés en anglais, sont répertoriés et catégorisés.

Une évaluation préliminaire a été effectuée pour mettre en relation la vitesse maximale des particules d'une part et la magnitude du coup de toit et son éloignement de la source d'autre part. Les données des mines Quirke et Creighton indiquent qu'il existe une relation entre la vitesse maximale des particules et un facteur éloignement/magnitude. Ces résultats ne sont toutefois pas en accord avec ceux obtenus dans une mine d'or d'Afrique du Sud.

Plans de recherche 1987-1988

a) Rétrospective sur les coups de toit survenus dans les mines de l'Ontario en 1986 et acquisition de données pour 1987.

b) Évaluation des techniques de localisation des sources faisant intervenir les temps d'arrivée des ondes P et S.

c) Examen des méthodes de tir de relaxation utilisées dans les mines de l'Ontario.

d) Préparation d'une ébauche de chapitre sur une Étude historique des coups de toit dans les mines canadiennes.

RÉSUMÉ DES RÉALISATIONS

Comme l'étude a commencé en 1985, un certain nombre de progrès ont été réalisés en matière d'avancement de nos connaissances et d'analyse des coups de toit et des méthodes permettant de les éviter. Les faits saillants de ces réalisations sont résumés ci-dessous.

Magnitude des coups de toit

Depuis 1984, les coups de toit survenus dans les mines de l'Ontario sont classés par ordre de magnitude. Cela a permis de mieux définir l'étendue du problème, d'évaluer la stabilité du terrain pendant une période déterminée et de comparer non seulement les mines de l'Ontario, mais aussi les mines du monde entier. Les données sur la magnitude sont produites par le Réseau sismique de l'est du Canada qui est exploité par Énergie, Mines et Ressources Canada. Actuellement, tout coup de toit de magnitude supérieure à 2,0 est habituellement détecté par ce réseau dans les mines de l'Ontario. L'installation de stations sismographiques additionnelles à Sudbury, Elliot Lake, Red Lake et Kirkland Lake permettra d'abaisser le seuil de détection des coups de toit.

Réseaux microsismiques

Mettant à profit plusieurs années d'expérience en matière de réseaux de surveillance microsismique, les mines ontariennes ont réalisé un grand nombre de progrès. Les zones dangereuses d'une mine peuvent être identifiées immédiatement à partir de la surface et, dans une situation d'urgence, les réseaux deviennent un outil inestimable. La distribution de l'activité microsismique révèle souvent les mécanismes d'un coup de toit. Par exemple, la sismicité des glissements de faille dans les mines Falconbridge, Strathcona et Garson n'a pu être constatée qu'après que les réseaux microsismiques aient indiqué qu'il y avait concentration d'événements microsismiques le long de plans structuraux géologiques.

Les sociétés minières ont fait d'énormes progrès en matière de représentation graphique des données recueillies par leurs réseaux microsismiques. Dans un grand nombre de mines de l'Ontario, les exploitants peuvent maintenant visualiser immédiatement des plans et des coupes, indiquant toute activité sismique récente dans les zones dont ils ont la responsabilité.

Causes et mécanismes des coups de toit

Avant de mettre au point des méthodes de réduction des coups de toit, il faut en connaître leurs causes et leurs mécanismes. Trois types de coups de toit ont été identifiés : de déformation, de pilier et de glissement de faille. Tous ces types de coups de toit ont été observés dans des mines de l'Ontario. L'énergie violemment libérée pendant un coup de toit provient de la masse rocheuse environnante plutôt que de la structure qui s'effondre (par exemple un pilier). La violence de la rupture est fonction de la rigidité du système de charge (par exemple la roche encaissante). Lorsqu'il y a rupture d'une masse rocheuse, la proportion d'énergie libérée sous forme sismique (c'est-à-dire le rendement sismique) varie selon le type de coup de toit. Elle est très faible pour un coup de toit dû à un glissement de faille et très élevée pour une rupture de pilier.

Tir de relaxation des contraintes

Les tirs de relaxation des contraintes ont été utilisés avec succès dans les mines de l'Ontario pour réduire les risques de coups de toit ou en contrôler le moment. Dans les piliers de couronne et de sole, se trouvant dans des corps minéralisés à fort pendage, le but du tir de relaxation est de diminuer l'énergie potentielle de la masse rocheuse environnante. Pour y arriver, on fracture le pilier et on laisse le mur et le toit converger. Une des principales conditions du succès d'un tir de relaxation est de s'assurer qu'il y ait une forte convergence.

L'utilisation de réseaux microsismiques pour surveiller l'activité sismique consécutive à un tir de relaxation (ou à un tir de production important) s'est avérée très efficace pour évaluer la stabilité immédiate de la zone touchée. Il est possible d'entendre l'activité sismique à partir de la surface avant que les travailleurs ne descendent dans la mine.

RAPPORTS

Brehaut, C.H. et Hedley, D.F.G.; *Rapport annuel 1985-1986 du Projet de recherche conjoint Canada-Ontario-industrie sur les coups de toit*; Rapport spécial de CANMET SP86-3F; CANMET, Énergie, Mines et Ressources Canada; 1986.

Makuch, A; *Conception d'un nouveau système de surveillance macrosismique*; Rapport spécial de CANMET SP86-14F; CANMET, Énergie, Mines et Ressources Canada; 1986.

Niewiadomski, J.; *Techniques de localisation des foyers fondées sur l'arrivée des ondes P*; Rapport spécial de CANMET SP86-15F; CANMET, Énergie, Mines et Ressources Canada; 1986.

Hedley, D.G.F.; *Condition of the hanging wall above the rockburst area at Quirke Mine*; Rapport de Division M&ET/MRL 86-155(TR); CANMET, Énergie, Mines et Ressources Canada; 1986.

Udd, J.E. et Hedley, D.G.F.; *Rockburst research in Canada – 1987*; Rapport de Division MRL 87-1(TR); CANMET, Énergie, Mines et Ressources Canada; 1987.

Arjang, B. et Nemcsok, G.; *Review of rockburst incidents at the Macassa Mine, Kirkland Lake*; Rapport de Division MRL 87-21(TR); CANMET, Énergie, Mines et Ressources Canada; 1987.

Hanson, D.S.G.; *Calibration of the NFOLD displacement discontinuity model of the "A" zone at Campbell Red Lake*; Rapport de Division MRL 87-36(TR); CANMET, Énergie, Mines et Ressources Canada; 1987.

Hedley, D.G.F.; *Rockbursts in Ontario mines during 1985*; Rapport spécial de CANMET SP87-2; 1987.

Hedley, D.G.F.; *Catalogue of rockburst literature*; Rapport de Division MRL 87-50(LS), CANMET, Énergie, Mines et Ressources Canada; 1987.

Hedley, D.G.F.; *Rockburst mechanics*; Rapport de Division MRL 87-118(TR), CANMET, Énergie, Mines et Ressources Canada; 1987.

Makuch, A., Neumann, M., Hedley, D.G.F. et Blake, W.; *Destress blasting at Campbell Red Lake Mine*; Part 1 : Rock mechanics concepts of destressing pillars; Part 2 : Pratical applications of pillar destressing at Campbell Mine; Part 3 : An instrumented destress blast of the 1604E crown pillar; Rapport Spécial de CANMET SP87-8; CANMET, Énergie, Mines et Ressources Canada; 1987.

Hanson, D.S.G., Quesnel, W. et Hong, R.; *Destressing a rockburst-prone crown pillar at Macassa Mine*; Rapport de Division MRL 87-82 (TR), CANMET, Énergie, Mines et Ressources Canada; 1987.

Autres rapports pertinents

Bawden, W. et Kitzinger, F.; *Présentation de systèmes sismiques utilisés en Afrique du Sud*; Rapport spécial de CANMET SP86-10; CANMET, Énergie, Mines et Ressources Canada; 1986.

Ames, D.W.; *Bulk mining and worker safety – a preliminary study*; Report of Mining Health and Safety Branch, ministère du Travail de l'Ontario; 1987.

Neumann, M., Makuch, A., Hedley, D.G.F. et Blake, W.; *Practical applications of pillar destressing at Campbell Red Lake Mine*; 8e conf. des exploitants souterrains de l'ICM, Elliot Lake (Ontario), février 1987.

Le Bell, G.R., Quesnel, W.T.F. et Glover, W.; *An analysis of rockburst events during sinking of Macassa No. 3 shaft*; Assemblée générale annuelle de l'ICM, Toronto, mai 1987.

Morrison, D.M.; *Rockburst research at Falconbridge Limited*; Assemblée générale annuelle de l'ICM, Toronto, mai 1987.

ANNEXES

ANNEXE A

Comité de gestion du projet de recherche sur les coups de toit

C.H. Brehaut — Président de Campbell Red Lake Mines Ltd.
C. Barsotti — INCO Ltd.
M. Musson — Falconbridge Ltd.
V. Pakalnis — Ministère du Travail de l'Ontario
G. Weatherson — Ministère du Développement du Nord et des Mines de l'Ontario
K. Whitham — Énergie, Mines et Ressources Canada
J.E. Udd — Énergie, Mines et Ressources Canada.

ANNEXE B

Comité technique du projet de recherche sur les coups de toit

D.G.F. Hedley — Énergie, Mines et Ressources Canada, président
C.G. Graham — Ontario Mining Association, secrétaire
D. Ames — Ministère du Travail de l'Ontario
W.J. Logan — Ministère du Développement du Nord et des Mines de l'Ontario
P. MacDonald — INCO Ltd.
A. Makuch — Campbell Red Lake Mines Ltd.
D.M. Morrison — Falconbridge Ltd.
S.N. Muppalaneni — Rio Algom Ltd.
W.J.K. Quesnel — Lac Minerals Ltd.
A. Sheikh — Denison Mines Ltd.

ANNEXE C

Personnel d'Énergie, Mines et Ressources Canada engagé dans le projet

*Dr **J.E. Udd**, directeur des Laboratoires de recherche minière, CANMET
Dr **D.G.F. Hedley**, chercheur scientifique, LRM, CANMET
*Dr **B. Arjang**, chercheur scientifique, LRM, CANMET
Dr **J. Niewladomski**, boursier post-doctoral, LRM, CANMET
M. P. Rochon, ingénieur en contrôle des terrains, LRM, CANMET
M. D.S.G. Hanson, ingénieur en contrôle des terrains, LRM, CANMET
M. A. Makuch+, ingénieur en contrôle des terrains, LRM, CANMET
M. T. Semadeni, ingénieur en contrôle des terrains, LRM, CANMET
M. W. Ropchan, technicien en électronique, LRM, CANMET
M. T. Jewiss, technicien minier, LRM, CANMET
***M. G. Vaillancourt**, technicien minier, LRM, CANMET
***M. M.D. Andrew**, ingénieur, Division de la géophysique, Commission géologique du Canada
***Mme Cajka**, chercheur technicien, Énergie Atomique du Canada Ltée, (rattachée à la Division de géophysique, Commission géologique du Canada).

*Temps partiel
+Maintenant chez Campbell Red Lake Mines Ltd.

ANNEXE D

Budget, équipement et services, 1986-1987

Forage au diamant à la mine Quirke, report	5 759 $
Capteurs de pression du remblai et appareils de mesure de la convergence	8 671 $
Stations sismographiques à Sudbury, Elliot Lake, Red Lake et Kirkland Lake	58 902 $
Réseau macrosismique pour la mine Strathcona	63 483 $
Enregistreurs de formes d'onde pour les mines Campbell et Macassa	64 251 $
Matériel électronique divers	4 944 $
Câble électrique	3 403 $
Transport du matériel	694 $
	210 107 $